

Farklı Bölgelerde Üretilen PKÇ/B 32,5 R Çimentosunun, Betonarme Yapılardaki Donatı Korozyon Potansiyeline Etkisi

Servet YILDIZ, Oğuzhan KELEŞTEMUR
F.Ü. Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ.
syildiz@firat.edu.tr, okelestemur@firat.edu.tr

Özet

Araştırmacılar tarafından beton örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarda genellikle değişik klorür iyonu konsantrasyonlarında beton içindeki çeliğin korozyon hızı belirlenmiş ve klorür iyonlarının korozyona neden olan minimum sınır değeri tayin edilmiştir. Bu çalışmada ise farklı fabrikalardan alınan PKÇ/B 32,5 R çimentosunun, betonarme yapılardaki donatı korozyon potansiyeli üzerine etkisi araştırılmıştır.

Korozyon potansiyelleri ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün boyunca her gün ölçülmüştür. Korozyon potansiyeli ölçümlerinde referans elektrot olarak doygun Bakır/Bakır Sülfat (Cu/CuSO_4) referans elektrodu kullanılmıştır. Korozyon potansiyellerinin zamana göre değişimi çeliğin aktif veya pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere grafiğe geçirilmiştir. 90. gün sonunda elde edilen elektrot potansiyeli değerleri sırasıyla -0,526 V, -0,454 V, -0,447 V, -0,496 V ve -0,360 V olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden sadece E numunesi içerisindeki elektrota ait potansiyel değeri, literatürde belirtilmiş olan aktif-pasif bölgede yer alıp diğer beton numunelere ait elektrot potansiyelleri korozyon açısından aktif bölgede kalmışlardır. Bu yöntemle göre zamana karşı yapılan potansiyel ölçümlerinde beton örnekleri içindeki inşaat demirlerinin korozyonu kalitatif olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Çimento, Beton, Betonarme, Çelik

The Effect of Cements, PKÇ/B 32.5 R, Produced in Various Areas on Corrosion Potential in the Reinforced Concrete Structures

Abstract

In the studies done on the original concrete samples, the corrosion rates of reinforced steel in the concrete have been determined for various chlorine concentration and the minimum limit values of chlorine causing corrosion have been reported. In this study, the effect of PKÇ/B 32.5 R cement provided from various cement factories on the corrosion potentia in the reinforced concrete structures I has been investigated.

Corrosion Potentials of samples were measured according to ASTM-C876-91 along 90 days. Saturated Cu/CuSO_4 was used as the reference electrode in the measurement of corrosion potential. The change on the corrosion potential versus time has been drawn on the diagrams to determine weather the steel active or passive. The electrode potential values have been determined as -0.526, -0.454, -0.447, -0.496 and -0.360 V at the end of 90th days. The electrode potential of only one sample has been determined in the active-passive zone, others have stayed in the active zone from the corrosion point. The corrosion rates of reinforced steel used in the concrete structures have been qualitatively determined with the measurements of potential versus time.

Keywords: Corrosion, Cement, Concrete, Reinforced Concrete, Steel.

1. Giriş

İnşaat malzemelerinin başında gelen ve her çeşit yapıda kolaylıkla kullanılabilen beton, dış etkilere karşı fiziksel ve kimyasal olarak oldukça dayanıklıdır. Basınca karşı dayanımı çok yüksek olan betonun, çekmeye karşı düşük olan dayanımını artırmak üzere çelik takviye kullanılmaktadır.

Betonarme demiri olarak kullanılmakta olan çelik atmosferde ve sulu ortamlarda korozyona karşı dayanıksız bir metaldir. Buna rağmen betonarme demirleri beton içinde korozyona uğramadan uzun süre dayanır. Bunun nedeni betonun yüksek alkali özellikte olmasıdır. Alkali ortamlarda demir yüzeyinde pasif bir oksit filmi oluşarak korozyon hızını azaltır. Diğer taraftan beton boşluklu yapıda olmasına rağmen geçirgenliği düşük bir malzemedir. Bu nedenle betonarme demirlerinin korozyonuna neden olan bileşiklerin (oksijen, su ve klorür) çevreden beton içine girmesi ve demire kadar ulaşması güçleşir. Betonun özellikle kuru halde iken elektriksel iletkenliği de oldukça düşüktür. Yani beton rezistivitesi yüksek bir elektrolit gibi davranır. Bunun sonucu olarak betonarme demirlerinin pratik olarak korozyona uğramayacağı söylenebilir, [1, 2, 3].

Ancak beton karışımı sırasında kullanılan malzemeler ile birlikte (karışım suyu, kum, çimento v.b.) beton içine klorür iyonu ve diğer zararlı iyonlar girmiş ise, bu zararlı iyonlar betonarme demirlerinin pasifleşmesine engel olur. Aynı olay, sertleşmiş bir beton bünyesine sonradan zararlı iyonların girmesi halinde de kendini gösterir. Daha önce pasif hale gelmiş olan betonarme demirlerinin üzerinde bulunan pasif tabaka yer yer bozulur ve bu bölgede, çukurcuklar oluşturarak kendini gösteren pitting tipi korozyon olayı başlar.

Betonarme demirlerinin korozyonu sonucu, korozyon ürünlerinin meydana getirdiği hacim büyümesi nedeniyle betonda iç gerilmeler olur. Bunun sonucunda beton çatlar, hatta parçalanabilir. Bu durum yalnız korozyonun etkisinde kalmış olan bölge için değil, yapının tamamı için tehlikeli sonuçlar doğurabilir, [4].

Betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etki yapan faktörler konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar başlıca aşağıdaki konularda yoğunlaşmıştır.

a. Betonda kullanılan çimento cinsi ve dozajı, su/çimento oranı, beton katkı maddeleri ve inhibitörlerin korozyon üzerine etkileri,

b. Betonun geçirgenliği (permeabilitesi), porozitesi, mukavemeti, rutubet yüzdesi, elektrik iletkenliği gibi fiziksel özelliklerinin betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkileri,

c. Beton içine çevreden difüze olan zararlı gaz ve iyonların betonarme demirlerinin pasifliğini bozucu etkileri araştırılmıştır.

Bugüne dek betonarme donatısının korozyonu üzerine çimentoların etkisi ile ilgili araştırmalarda farklı türden çimentolar karşılaştırılarak bunların korozyona etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise, farklı türden çimentolar kullanmak yerine, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak kullanılan PKÇ/B 32,5 R türü çimentosunun betonarme donatısının korozyon potansiyeli üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, çimento hammaddesinin oksit kompozisyonunda meydana gelen küçük değişikliklerin korozyon

potansiyeli üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu amaçla, zamana karşı yapılan potansiyel ölçümleri sayesinde beton örnekleri içindeki inşaat demirlerinin korozyonu kalitatif olarak incelenmiştir.

2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Deney Yöntemi

Farklı bölgelerdeki fabrikalardan alınan PKÇ/B 32,5 R türü çimentonun betonarme demirlerinin korozyon potansiyeline etkisi 15 adet beton numunesi üzerinde incelenmiştir. Elektrot olarak, inşaat sektöründe temel yapı malzemesi olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları üretimi SAE1010 yumuşak çelik çubuklar kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal bileşimi Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1: Deneylerde kullanılan çeliğin ağırlıkça analizi

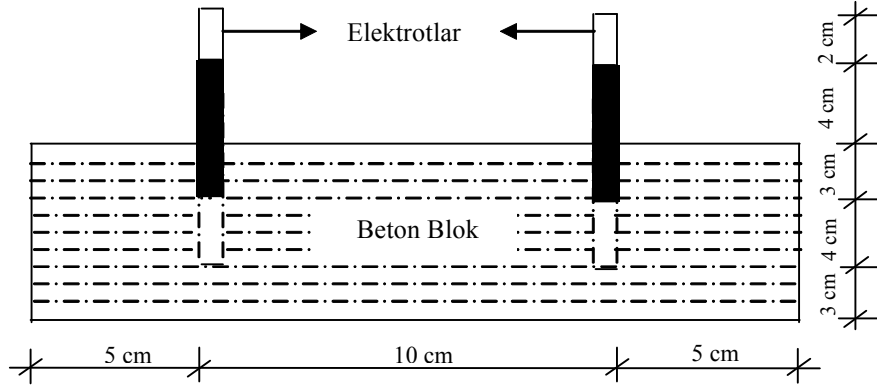
Element	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
Ağırlıkça, %	0,100	0,250	0,050	0,005	0,046

Çizelge 1'de ağırlıkça analizi verilen çelik çubuklardan 8 mm. çapında, 13 cm. uzunluğunda 30 adet kesilmiş ve yüzeyleri tornalanarak mekanik olarak temizlenmiştir. Daha sonra elektrot yüzeyleri 1200 meş'lik zımpara pürüzsüz hale getirilmiştir. Pürüzsüz hale getirilen yüzeyler, etil alkolle temizlenmiştir. Bu elektrotların betona gömülecek olan uçlarında 10 cm²'lik yüzey alanı açık bırakılmıştır. Deney esnasında çeliğin potansiyelinin kolayca ölçülebilmesi için çelik elektrotun diğer ucuna vida dişi açılarak, bu vidalara kablolar bağlanmıştır. Elektrotun geriye kalan bölgeleri ise önce epoksi reçinesi ile sonrada polietilen sargı ile kapatılarak dış etkilere karşı korunmuştur. Elektrotlar deney başlayana kadar desikatör içerisinde koruma altına alınmıştır.

Deneydeki beton numuneler için 10cmx10cmx20cm boyutlarında 15 adet dökme demirden yapılmış özel kalıplar kullanılmıştır. Betonun kalıplara yapışmaması için, kalıplar beton dökümünden önce yağlanarak hazır hale getirilmiştir.

TS 802'ye uygun olarak hazırlanan beton karışımı kalıplara yerleştirilerek, daha önceden hazırlanan iki adet elektrot beton içerisine yerleştirilmiştir. Beton blok ve içerisine yerleştirilen elektrotların boyutları Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir. Şekil 1'de yer alan elektrotlar üzerindeki siyah bölgeler, koruma altına alınan bölgeleri ifade etmektedir. Beton içerisine yerleştirilen elektrotların, beton ile temasta olan yüzey alanları 10cm²'dir. Beton numuneleri, laboratuvar ortamında 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplar sökülüştür.

Çimento dozajı, su/çimento oranı, agrega miktarı, korozif bir ortam oluşturmak amacıyla deniz suyu baz alınarak katılan NaCl miktarı aynı olan ve TS 802'ye uygun olarak karışım hesabı yapılan ancak her numunede farklı bölgelerdeki fabrikalardan alınan PKÇ/B 32,5 R türü çimentonun kullanıldığı beş grup beton numunesine, ticari açıdan sakıncalar doğurmaması ve yanlış anlaşılmalara yol açmaması için çimentoların alındığı fabrika isimlerini vermek yerine A, B, C, D ve E numunesi şeklinde isimler verilerek deneyler yapılmıştır. Sırasıyla bu numunelerin hazırlandığı, farklı fabrikalardan temin edilen PKÇ/B 32,5 R çimentolarına ait kimyasal analiz sonuçları çizelge halinde Çizelge 2.'de verilmiştir.



Şekil 1: Beton blok içerisine yerleştirilmiş elektrotların şematik görünüşü

Çizelge 2: Çimentolara (PKÇ/B 32,5 R) ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Çimentoların Bileşen Miktarları (%)				
	A	B	C	D	E
Silisyum dioksit (SiO_2)	29.12	27.74	23.51	27.08	23.45
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	8.63	7.27	6.15	6.24	8.55
Demir oksit (Fe_2O_3)	6.00	3.96	4.00	5.01	7.50
Kalsiyum oksit (CaO)	43.85	49.97	58.51	52.54	50.82
Mağnezyum oksit (MgO)	3.74	2.85	2.27	4.38	3.61
Kükürt trioksit (SO_3)	2.14	2.21	2.37	2.81	2.92
Klorür (Cl)	0.006	0.0102	0.10	-	-
Kızdırma kaybı (K.K.)	2.50	4.99	2.04	1.17	2.43
Tayin edilemeyen (T.E.)	4.02	-	-	0.71	0.25
Erimez kalıntı (E.K.)	-	-	12.46	13.03	14.74
Serbest Kireç (s.CaO)	1.57	1.06	0.55	1.28	-
Toplam katkı miktarı	30.00	28.99	24.49	29.01	24.38

Beton karışım harçlarındaki tek farklılığın değişik fabrikalardan alınan PKÇ/B 32,5 R çimentosunun olduğu beş grup numunede, diğer tüm karışım malzemeleri ve oranları eşit olarak kullanılmıştır. TS 802'ye uygun olarak hazırlanan bu beton karışım oranları Çizelge 3.'de verilmiştir.

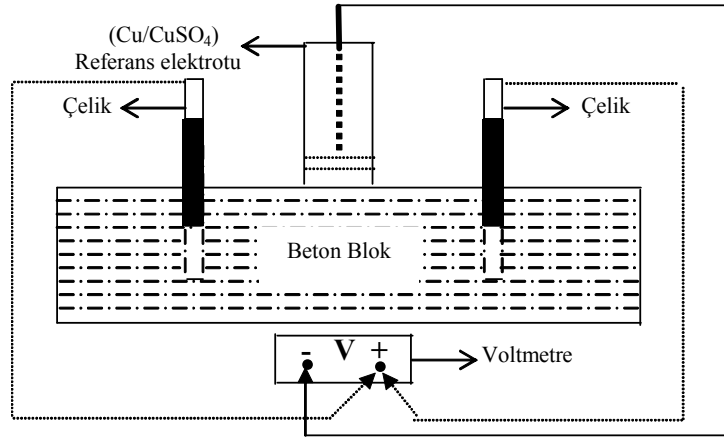
Çizelge 3. TS 802'ye göre hazırlanan beton karışım miktarları

Kalıp Ebadı : 10 cmx10 cmx20 cm (2 dm ³)		
PKÇ/B 32,5 R Çimento miktarı	:	920 gr
Kum (0-4 mm) miktarı	:	1.8 kg
Çakıl (4-8 mm) miktarı	:	1.7 kg
Su miktarı	:	533.5 gr
Sodyum Klorür (NaCl) miktarı	:	16.5 gr
Su/Çimento oranı	:	0.60

Çizelge 3.'de verilen miktarlara göre hazırlanan beton karışımları, betoniyerde 2. dk.'lık bir karışım sonucu elde edilerek kalıplara 3 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabaka 25 defa şişlenmiştir. Daha sonra terlemelerinin bitmesi beklenerek yüzeyleri mala ile düzeltilmiş ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Deney süresince laboratuvar ortamında bulunan beton numunelere ıslak bezlerle kür uygulaması yapılmıştır.

3. Deney Yöntemi ve Sonuçlar

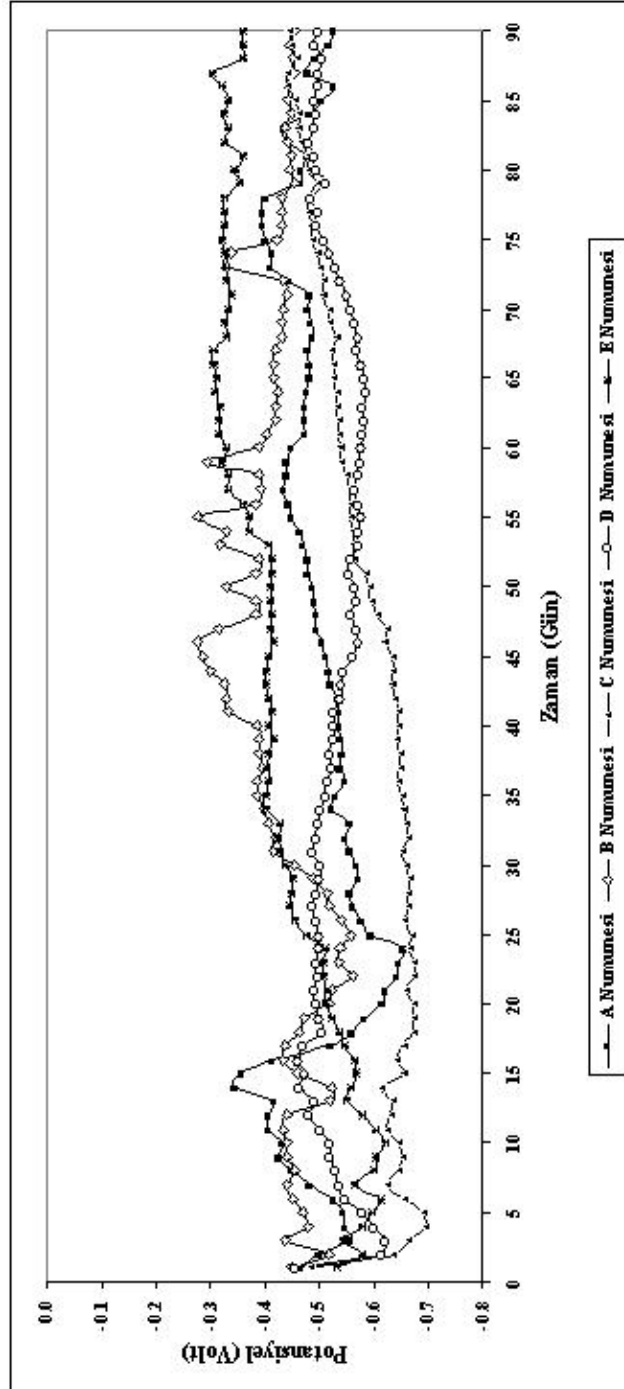
Korozyon potansiyelleri ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün boyunca her gün ölçülmüştür. Korozyon potansiyeli ölçümlerinde referans elektrot olarak doymuş Bakır/Bakır Sülfat (Cu/CuSO₄) referans elektrotu kullanılmıştır. Korozyon potansiyellerinin zamana göre değişimleri çeliğin aktif veya pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere grafiğe geçirilmiştir. Cu/CuSO₄ referans elektrotu yardımıyla, açık devre yarı hücre potansiyellerinin tespit edilmesi Şekil 2.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Cu/CuSO₄ referans elektrotu ile beton içerisindeki çeliğin korozyon potansiyeli ölçümü

Cu/CuSO₄ referans elektrotu; yaklaşık 4 cm çapında, 13 cm yüksekliğinde ki plastik boru içerisine konulmuş bir bakır çubuk ve doymuş bakır sülfat çözeltisinden oluşur. Çözeltinin içerisine doymunluğunu yitirmemesi için CuSO₄ kristalleri de ayrıca eklenmiştir. Plastik borunun altı gözenekli tahtadan (çam) yapılmış bir tıkaçla kapatılmıştır. Çözeltinin kirlenmemesi ve herhangi bir devrilme anında boş akmaması için plastik borunun üstünde aynı

tahtadan yapılmış bir tıkaçla kapatılmıştır. Omik direnç etkisini gidermek amacıyla referans elektrotun en alt kısmı ıslak bir sünger ile kaplanmıştır.



Şekil 3. Çeliğin korozyon potansiyeli değerinin beş ayrı beton numune içerisinde zamana göre değişim

Bu yöntemle göre zamana karşı yapılan potansiyel ölçümlerinde beton numuneler içerisindeki inşaat demirlerinin korozyonu kalitatif olarak incelenmiştir. Farklı bölgelerde ki beş ayrı fabrikadan alınan PKÇ/B 32,5 R çimentosu ile hazırlanmış beş grup beton numune üzerinde ASTM-C-876-91 standardına uygun olarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin tamamı grafiksel olarak Şekil 3.'de bir arada gösterilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Deneyler neticesinde elde edilen veriler şu şekilde yorumlanmıştır.

Korozif bir ortam oluşturabilmek amacıyla beton karışım suyu ile birlikte beton bünyesine katılan %3 oranındaki NaCl'in etkisi ve beton numunelerinin kür koşullarında bulunuyor olması nedeniyle beton numuneleri içerisindeki çeliğin zamana karşı potansiyel ölçümleri sonucunda elektrot potansiyellerinin hemen hemen hepsinin korozyon açısından aktif bölgede oldukları saptanmıştır.

90 gün süresince her gün ASTM-C-876-91'e uygun olarak yapılan potansiyel ölçümleri neticesinde 90. gün sonunda elde edilen elektrot potansiyeli değerleri sırasıyla -0,526 V, -0,454 V, -0,447 V, -0,496 V ve -0,360 V olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden sadece E numunesi içerisindeki elektrota ait potansiyel değeri, literatürde belirtilmiş olan aktif-pasif bölgede yer alıp diğer beton numunelere ait elektrot potansiyelleri korozyon açısından aktif bölgede kalmışlardır.

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen korozyon potansiyellerinden, 90. gün sonunda A numunesi içerisindeki elektrotun korozyon potansiyelinin negatif değer olarak en yüksek (-0,526 V), E numunesindeki elektrotun korozyon potansiyelinin de en düşük (-0,360 V) çıkmasına neden olan en önemli etkenin, bu elektrotların bulunduğu beton numunelerde yer alan çimentolardaki asit oksit ve baz oksit miktarlarının farklılığından kaynaklanabilecek pH değerlerindeki değişimin olabileceği düşünülmektedir.

Bu numunelerde kullanılan çimentolara ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, korozyon potansiyeli değeri negatif olarak en büyük olan elektrotun bulunduğu A numunesindeki çimento bünyesinde yer alan asit oksitlerin miktarı, korozyon potansiyeli değeri en düşük olarak tespit edilen elektrotun bulunduğu E numunesindeki çimento bünyesinde yer alan asit oksitlerin miktarından fazla olduğu ayrıca A numunesindeki çimento bünyesinde yer alan baz oksit miktarlarının E numunesi içerisinde yer alan çimento bünyesindeki baz oksit miktarlarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Asit oksit kompozisyonundaki artışa karşılık baz oksit kompozisyonundaki azalma, A numunesinin pH değerini düşürerek ortamdaki elektrotların korozyon potansiyellerinin aktif durumda kalmalarına sebep olmuştur.

A numunesi içerisindeki elektrotun korozyon potansiyeli değerinin negatif yönde en yüksek çıkmasına neden olan diğer etkenler ise, bu numuneyi oluşturan çimento bünyesindeki tayin edilemeyen bileşiklerin miktarının (%4,02) ve serbest kireç (CaO) miktarının ise (%1,57) gibi oldukça yüksek değerlerde olmasıdır. Çimento içerisindeki tayin edilemeyen bileşiklerin ve serbest kireç oranının en fazla %1 olması istenir. Bu bileşiklerin beton içerisinde olması gereken miktardan fazla bulunması halinde, genleşmelere yol açarak betonun boşluklu yapı kazanmasına dolayısıyla da korozyonun hızlanmasına yol açacağı kesindir.

Çimento içerisindeki toplam katkı miktarının artmasıyla birlikte, korozyon potansiyelinin de negatif yönde artış gösterdiği deneyler sonucunda belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışma neticesinde, aynı tür çimento ile hazırlanan beton numuneler içerisindeki donatıların korozyon potansiyellerinin farklılık göstermesi, çimento hammaddesinin farklılığından kaynaklandığı sonucuna bağlanmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir;

a. PKÇ/B 32,5 R çimento türü için en uygun hammadde kaynağı tespit edilip, bu çimento türünün kalitesi daha da artırılarak betonarme donatısının korozyonuna olan etkisi minimum seviyeye indirilebilir.

b. Benzer araştırmaların tüm bölgelerde uygulanmasıyla, Türkiye genelinde üretim yapan fabrikalarda hammadde kaynağı ve kimyasal bileşenler yönünden bir standardizasyon sağlanmalıdır.

5. Kaynaklar

1. ACI Journal Committee Report, Corrosion of Metals in Concrete, Ame. Concrete Inst., ACI 222 R-85, Detroit, 3, 1985.
2. G. N. Scott, Corrosion Protection Properties of Portland Cement Concrete, J.Am. Water Works Assoc., 57, 1038, 1965.
3. H. Arup, The Mechanisms of the Protection of Steel by Concrete in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, A.P. Crane, Ed., Ellis Harwood, Ltd., p. 393, 1983.
4. G. T. Halvorsen, Protecting Rebar in Concrete, Materials Performance, August, 31-33, 1993.
5. Ö. M. Doğan, Çeliğin Beton İçinde Pasiflik ve Korozyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1989.
6. D. A. Lewis and W.J. Copenhagen, Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete in Marine Atmospheres, Corrosion-Nace, Vol-15, July, 1959.
7. R. K. Dhir at all., Quantifying chloride induced corrosion from half-cell potential, cement and concrete research, Vol:23 1443-1454, 1993.
8. M. Doruk, Korozyon ve Önlenmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Müh. Fak., Yayın No:70, Ankara, 1982.
9. D. A. Hausmann, Steel Corrosion in Concrete, Materials Protection, November, 19-23, 1967
10. A. M. Neville, Properties of Concrete, Pitman Publishing Corporation, Newyork, 1972.
11. B. Özdemir, Çimento Teknolojisi, Şafak Matbaası, Ankara, 1973.
12. Rasheduzzafar at all., Effect of Tricalcium Aluminate Content of Cement on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete, Cement and Concrete Research, Vol: 20 723-738, 1990.
13. R. F. Stratfull, Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete, Highway Research Record 433, p.12, 1973.
14. R. F. Stratfull, Comments on the Identification of Chloride Threshold in the Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion-NACE, 47, August, 1987.
15. TS 26, Çimento-Traslı Çimento, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan, Ankara, 1992.
16. S.Üneri, Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği, Poyraz Ofset, Ankara, 1998.

17. J. R. Van Daveer, Techniques for Evaluating Reinforced Concrete Bridge Decks, J. Ame. Concrete. Inst., 12, 697, 1975.
18. H. G. Wheat and Z. Eliezer, Some Electrochemical Aspects of Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion-NACE, 41, 640, 1987.